

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2003 年 12 月 4 日 (04.12.2003)

PCT

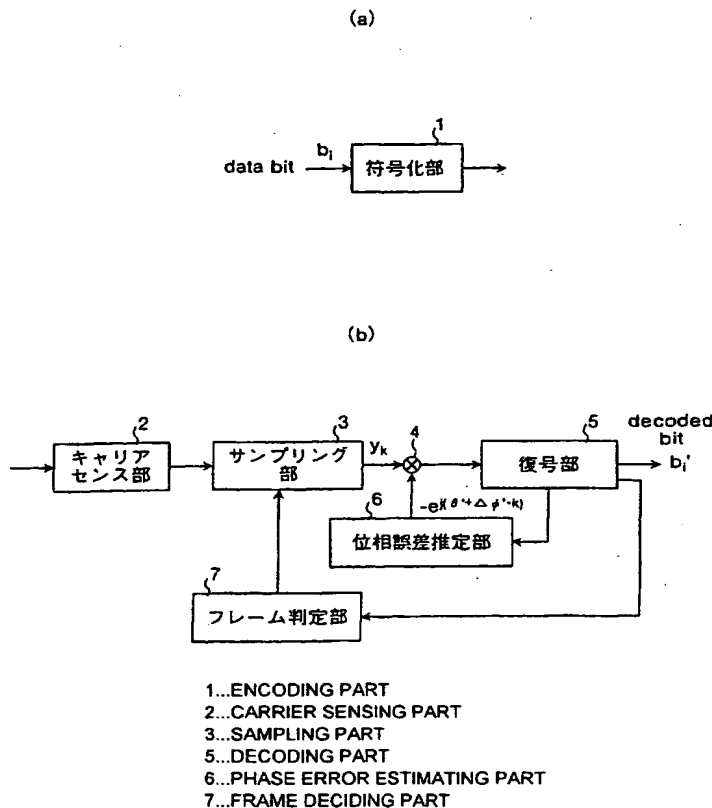
(10) 国際公開番号
WO 03/101034 A1

- (51) 国際特許分類: H04L 7/08, H03M 13/39
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/06396
(22) 国際出願日: 2003 年 5 月 22 日 (22.05.2003)
(25) 国際出願の言語: 日本語
(26) 国際公開の言語: 日本語
(30) 優先権データ: 特願2002-149174 2002 年 5 月 23 日 (23.05.2002) JP
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI)
(72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 松本 渉 (MATSUMOTO, Wataru) [JP/JP]; 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo (JP).
(74) 代理人: 酒井 宏明 (SAKAI, Hiroaki); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関三丁目2番6号 東京倶楽部ビルディング Tokyo (JP).
(81) 指定国 (国内): CN, US.

[続葉有]

(54) Title: COMMUNICATION SYSTEM, RECEIVER APPARATUS AND COMMUNICATING METHOD

(54) 発明の名称: 通信システム、受信機および通信方法



(57) Abstract: In a receiver apparatus, a decoding part (5) executes a single LDPC decoding of a received signal by use of "sum-product algorithm" at a plurality of sample points that are candidates of a sample starting point; a phase error estimating part (6) uses a soft-decision information outputted during the decoding to execute a phase error estimation based on MMSE; a multiplier (4) corrects, based on the result of the estimation, the received signal; and a frame deciding part (7) compares an average (A) of the absolute values of the latest logarithmic likelihood ratios with an average (B) of the absolute values of the immediately preceding logarithmic likelihood ratios to determine whether to terminate the correction processing, and if (B) is equal to or greater than (A), the frame deciding part (7) terminates the correction processing, and thereafter, uses, as the sample start point of the frame, a point corresponding to the maximum value of the averages of the absolute values of the logarithmic likelihood ratios at the candidates of the sample starting point.

(57) 要約: 本発明の受信機は、復号部 (5) が、サンプル開始点の候補となる複数のサンプルポイントで、受信信号に対して「sum-product アルゴリズム」による 1 回の LDPC 復号を実行し、位相誤差推定部 (6) が、復号の過程で出力される軟判定情報を用いて MMSE による位相誤差推定を実行し、乗算器 (4) が、推定結果に基づいて受信信号を補正し、フレーム判定部 (7) が、補正処理

を終了させるかどうかを最新の対数尤度比の絶対値の平均 (A) と 1 つ前の対数尤度比の絶対値の平均 (B) とを比較することによって判断し、 $B \geq A$

REC. 4 DOCKET PU040049

[続葉有]

CORRES. COUNTRY: _____

COUNTRY: PCT



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

の場合、補正処理を終了させ、その後、サンプル開始点の候補における対数尤度比の絶対値の平均の最大値に対応するポイントを、フレームのサンプル開始点とする。

明 細 書

通信システム、受信機および通信方法

5 技術分野

本発明は、プリアンプルやユーザコード等の特定のシンボルを用いずに同期制御を行うことが可能な通信システムに関するものであり、特に、LDPC (Low-Density Parity-Check) 符号化された信号を用いて同期制御を行うことが可能な通信システム、受信機および通信方法に関するものである。

10

背景技術

以下、従来の同期制御について説明する。まず、従来の同期確立方法について説明する。たとえば、送信側では、位相が反転したN個の信号（プリアンプル）を送信する（第12図上段および中段参照）。一方、受信側では、プリアンプルにおける位相の反転を検出し、このタイミングで同期信号を出力し（第12図下段参照）、被変調波のデータを復調する。通常、ノイズの多い通信路であっても正確に同期を確立できるようにするため、上記Nの数を10個以上に設定する場合が多い。

つぎに、従来のユーザ検出方法について説明する。通常、受信側では、上記プリアンプルに後続して送信されるユーザコードを用いて、受信フレームが自装置向けの通信フレームかどうかを確認する（第13図参照）。このとき、受信側では、自装置に割り当てられたユニークなコードと一致するかどうかによってユーザ検出を行う。一般に、ノイズ等によりコードパターンが偶然一致してしまう確率を減らすため、最低でも1バイト（8ビット）以上をこのユーザコードに割り当てる場合が多い。なお、通信フレームの構成としては、たとえば、上記ユーザコードの前後に各種制御用コードが配置され、それらに後続してユーザ用のデータ（ペイロードデータ）が配置される（第13図参照）。

25

しかしながら、上記、従来の通信方法においては、プリアンブルやユーザコードを通信フレーム中に配置することによって同期制御を行っているため、通信フレームが冗長化する、という問題があった。

従って、本発明は、プリアンブルやユーザコードを用いることなく、正確に同期制御を行うことが可能な通信システム、受信機および通信方法を提供することを目的としている。

発明の開示

本発明にかかる通信システムにあつては、LDPC符号化処理を実行する送信機と、サンプル開始点の候補となる複数のサンプルポイントで、受信信号に対して「sum-product アルゴリズム」による1回（イテレーション：1）のLDPC復号を実行する復号手段と、前記復号の過程で出力される軟判定情報を用いて、最小平均自乗誤差法（MMSE）による位相誤差推定を実行する位相誤差推定手段と、前記推定結果に基づいて受信信号を補正する補正手段と、を有する受信機と、を備えることを特徴とする。

つぎの発明にかかる通信システムにおいて、前記受信機は、さらに、前記補正処理を終了させるかどうかを、最新の対数尤度比の絶対値の平均（A）と1つ前の対数尤度比の絶対値の平均（B）とを比較することによって判断し、前記判断の結果、 $B < A$ の場合、補正後の受信信号を用いて再度LDPC復号および補正処理を実行させ、一方、補正後の受信信号を用いて繰り返し復号を実行した結果、 $B \geq A$ となった場合、補正処理を終了させ、その後、前記サンプル開始点の候補に対応する対数尤度比の絶対値の平均のなかから最大値を選択し、当該最大値に対応するポイントをフレームのサンプル開始点とするフレーム同期制御手段、を備え、前記復号手段は、選択されたフレームに対して、イテレーションが所定回数に達するか、または、誤りがなくなるまで、LDPC復号を繰り返し実行することを特徴とする。

つぎの発明にかかる通信システムにおいて、前記受信機は、キャリアセンスに

よりサンプル開始点の候補を決定することを特徴とする。

つぎの発明にかかる受信機にあつては、サンプル開始点の候補となる複数のサンプルポイントで、受信信号に対して「sum-product アルゴリズム」による1回（イテレーション：1）のLDPC復号を実行する復号手段と、前記復号の過程
5 5 で出力される軟判定情報を用いて、最小平均自乗誤差法（MMSE）による位相誤差推定を実行する位相誤差推定手段と、前記推定結果に基づいて受信信号を補正する補正手段と、を備えることを特徴とする。

つぎの発明にかかる受信機にあつては、さらに、前記補正処理を終了させるかどうかを、最新の対数尤度比の絶対値の平均（A）と1つ前の対数尤度比の絶対
10 10 値の平均（B）とを比較することによって判断し、前記判断の結果、 $B < A$ の場合、補正後の受信信号を用いて再度LDPC復号および補正処理を実行させ、一方、補正後の受信信号を用いて繰り返し復号を実行した結果、 $B \geq A$ となった場合、補正処理を終了させ、その後、前記サンプル開始点の候補に対応する対数尤度比の絶対値の平均のなかから最大値を選択し、当該最大値に対応するポイント
15 15 をフレームのサンプル開始点とするフレーム同期制御手段、を備え、前記復号手段は、選択されたフレームに対して、イテレーションが所定回数に達するか、または、誤りがなくなるまで、LDPC復号を繰り返し実行することを特徴とする。

つぎの発明にかかる受信機にあつては、キャリアセンスによりサンプル開始点の候補を決定することを特徴とする。

つぎの発明にかかる通信方法にあつては、所定のサンプルポイントで、受信信号に対して「sum-product アルゴリズム」による1回（イテレーション：1）のLDPC復号を実行する第1の復号ステップと、前記復号の過程で出力される軟判定情報を用いて、最小平均自乗誤差法（MMSE）による位相誤差推定を実行する位相誤差推定ステップと、前記推定結果に基づいて受信信号を補正する補正
20 20 ステップと、前記補正処理を終了させるかどうかを、最新の対数尤度比の絶対値の平均（A）と1つ前の対数尤度比の絶対値の平均（B）とを比較することによって判断する判断ステップと、前記判断の結果、 $B < A$ の場合、補正後の受信信

号を用いて再度LDPC復号および補正処理を実行し、一方、補正後の受信信号を用いて繰り返し復号を実行した結果、 $B \geq A$ となった場合、補正処理を終了し、イテレーションが所定回数に達するか、または、誤りがなくなるまで、LDPC復号を繰り返し実行する第2の復号ステップと、を含むことを特徴とする。

- 5 つぎの発明にかかる通信方法にあつては、サンプル開始点の候補となる複数のサンプルポイントで、受信信号に対して「sum-product アルゴリズム」による1回（イテレーション：1）のLDPC復号を実行する第1の復号ステップと、前記復号の過程で出力される軟判定情報を用いて、最小平均自乗誤差法（MMSE）による位相誤差推定を実行する位相誤差推定ステップと、前記推定結果に基づいて受信信号を補正する第1の補正ステップと、前記補正処理を終了させるかどうかを、最新の対数尤度比の絶対値の平均（A）と1つ前の対数尤度比の絶対値の平均（B）とを比較することによって判断する判断ステップと、前記判断の結果、 $B < A$ の場合、補正後の受信信号を用いて再度LDPC復号および補正処理を実行する第2の補正ステップと、一方、補正後の受信信号を用いて繰り返し復号を実行した結果、 $B \geq A$ となった場合、補正処理を終了し、前記サンプル開始点の候補に対応する対数尤度比の絶対値の平均のなかから最大値を選択し、当該最大値に対応するポイントをフレームのサンプル開始点とするフレーム同期ステップと、選択されたフレームに対して、イテレーションが所定回数に達するか、または、誤りがなくなるまで、LDPC復号を繰り返し実行する第2の復号ステップと、を含むことを特徴とする。
- 10
- 15
- 20

つぎの発明にかかる通信方法にあつては、キャリアセンスによりサンプル開始点の候補を決定することを特徴とする。

図面の簡単な説明

- 25 第1図は、本発明にかかる通信システムの構成を示す図であり、第2図は、フレーム構造を示す図であり、第3図は、通信装置間の通信にかかわるパラメータを示す図であり、第4図は、通信装置間の通信にかかわるパラメータを示す図で

あり、第5図は、各サンプルポイントにおけるLLRの絶対値の平均値を示す図であり、第6図は、フレーム誤りの確率を示す図であり、第7図は、 $\theta + \Delta\phi$ の回帰直線を示す図であり、第8図は、フレーム誤りの確率を示す図であり、第9図は、BER特性を示す図であり、第10図は、タイミングオフセットの推定値の確率密度分布を示す図であり、第11図は、周波数オフセットの推定値の確率密度分布を示す図であり、第12図は、従来の同期制御方法を説明するための図であり、第13図は、従来のユーザ検出方法を説明するための図である。

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明にかかる通信システム、受信機および通信方法の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。

第1図は、本発明にかかる通信システムの構成を示す図であり、詳細には、(a)が送信側の通信装置(送信機)の構成であり、(b)が受信側の通信装置(受信機)の構成である。なお、第1図において、1は符号化部であり、2はキャリアセンス部であり、3はサンプリング部であり、4は乗算器であり、5は復号部であり、6は位相誤差推定部であり、7はフレーム判定部である。

上記通信システムにおける各通信装置は、誤り訂正符号として、LDPC符号を採用する。また、LDPC符号化/復号処理においては、AWGN (Additive White Gaussian Noise: 白色ガウス雑音) 通信路を想定する。

たとえば、符号化率0.5でQPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 変調を用いた場合、受信側の通信装置における受信信号 y_k は、下記(1)式で表現できる。

$$y_k = c_k + n_k = r_{2k-1} + j \cdots \quad (1)$$

なお、受信信号 y_k はサンプルポイント k における複素の受信信号であり、 $k = 1, 2, \dots, L_c/2$ とし、 L_c は符号長であり、 c_k はQPSKの符号化系列

であり、 n_k は $2\sigma_0^2$ の複素の加法性白色ガウス雑音である。また、複素の受信信号のサンプルポイント k は、実軸と虚軸のサンプルポイント（2個分）が含まれており、時間軸上におけるサンプルポイントの間隔を T_s とする。すなわち、時間軸上では、実軸と虚軸のサンプルポイントが間隔 T_s で交互に発生する。

- 5 また、上記QPSKの符号化系列 c_k は、下記（2）式で与えられる。ただし、 u_{2k-1} と u_{2k} に対応する受信信号をそれぞれ r_{2k-1} と r_{2k} とする。

$$c_k = u_{2k-1} + j \cdot u_{2k} \cdots (2)$$

- 10 また、受信信号 y_k は、下記（3）式のようにモデル化できる。ただし、 θ はタイミングオフセットであり、 $\Delta\phi$ は搬送波周波数オフセットである。

$$y_k = e^{j(\theta + \Delta\phi \cdot k)} c_k + n_k \cdots (3)$$

- ここで、本実施の形態のフレーム同期制御および復号処理を説明する前に、LDPC符号を用いたフレーム同期制御の基本動作について説明する。ここでは、LDPC符号化された信号を、一般的な復号方法である「sum-product アルゴリズム」を用いて復号する。そして、「sum-product アルゴリズム」の出力であるLLR（対数尤度比）の絶対値の平均値を用いてフレーム同期制御を行う。なお、フレーム長は符号語長と等しいと仮定する。また、受信機（受信側の通信装置）は、キャリア電力を検出できる機能（キャリアセンス）を持つ。このキャリアセンス機能により大まかな受信フレームの開始位置を推定する。
- 20

まず、送信機（送信側の通信装置）では、符号語 b_i （ $i = 1, 2, \dots, L_c$ ）を生成するためのLDPC符号化器を用いて、2値のデータを符号化する。なお、符号語は、すでに信号星座点にマッピングされているものとする。また、実軸が $u_{2k-1} \{+1, -1\}$ であり、虚軸が $u_{2k} \{+1, -1\}$ である。

- 25 送信と受信にかかわる処理は、長さ L_D のデータビット $b_i \in \{1, 0\}$ のブロックに適用される。したがって、符号化率が R （ $0 \leq R \leq 1$ ）の場合、符号長 L_c は $L_c = L_D / R$ となる。

受信機では、キャリアセンス後、連続する±Mのサンプルポイントを解析することによって、すなわち、連続する±Mのサンプルポイントで「sum-product アルゴリズム」を実行することによって、フレーム同期を確立する。「sum-product アルゴリズム」では、受信シンボルのブロック $r = [r_1, r_2, \dots, r_{L_c}]$ から

5 得られる確率 $\Pr\{u_k = +1 \mid r\}$ と確率 $\Pr\{u_k = -1 \mid r\}$ とを計算する。具体的にいうと、たとえば、1回目の繰り返し復号による擬似事後LLR（対数尤度比）を（4）式のように計算する。

$$L_u^1(u_i) \equiv \ln \frac{\Pr\{u_i = +1 \mid r\}}{\Pr\{u_i = -1 \mid r\}} \dots (4)$$

10

そして、（5）式にしたがって、±MのサンプルポイントにおけるLLRの絶対値の平均値のなかから最大値を検出し、当該最大値に対応するポイントをフレームのサンプル開始点 g' とする。第2図は、フレーム構造を示す図である。

$$g' = \arg \max_{g \in [-M, M]} \frac{1}{L_c} \sum_{s=g}^{g+L_c-1} |L_u(u_s)| \dots (5)$$

15

上記（4）（5）式によりフレーム同期を確立後、受信機では、「sum-product アルゴリズム」による復号処理を継続する。

つぎに、符号化率 (Rate) = 0.5 の「Irregular-LDPC符号」を用いて、フレーム同期を確立できるかどうかの検証を行った。第3図、第

20 4図は、上記通信装置間の通信にかかわるパラメータを示す図である。なお、第4図では、「Irregular-LDPC符号」のアンサンブル（重み配分）の一例を示しており、 λ_x は検査行列全体の重みに対する重み x の列に含まれる全重みの比率を表し、 ρ_x は検査行列全体の重みに対する重み x の行に含まれる全重みの比率を表し、No. は重み x の列または行の数を表す。また、 σ_{GA} はガウス近似法により通信路ノイズの標準偏差を用いて表現した推定スレッショルド

25 値であり、 $SNR_{norm} (GA)$ は、シャノン限界からの差をdBで表現したもの

である。また、シャノン限界は符号化率0.5で $\sigma = 0.97869$ としている。

第5図は、(5)式によって与えられる、各サンプルポイントにおけるLLRの絶対値の平均値を示す図である。受信機は、LLRの絶対値の平均値のなかから最大のポイントを検出することによって、正確にフレーム同期を確立できる。

また、不適切なサンプルポイントにより発生する性能の劣化を見積もるために、異なるタイミングオフセットの状態でフレーム同期を評価した。第6図は、0度から45度までの異なるタイミングオフセットによるフレーム誤りの確率を示す図である。この結果、上記のようなフレーム同期制御を行う受信機では、タイミングオフセットが30度を越える場合、フレーム同期のリカバリが困難になることがわかる。すなわち、タイミングオフセットが30度を越える場合には、フレームエラー特性が劣化することがわかる。

以上、ここまでの説明は、LDPC符号を用いたフレーム同期制御の基本動作について説明したが、以降では、上記タイミングオフセットや周波数オフセットを補正しながらフレーム同期制御および復号処理を行う、本実施の形態の受信機の動作を、第1図にしたがって詳細に説明する。なお、送信機(符号化部1に相当)については、上記と同様に動作するためその説明を省略する。

具体的にいうと、本実施の形態では、サンプルタイミングおよび搬送波周波数に対する同期が取れていない状態で、「sum-product アルゴリズム」によって出力される軟判定ビットを用いてタイミングオフセットや周波数オフセットを推定する。このとき、受信機では、最小平均自乗誤差法(MMSE)を用いた拡張「sum-product アルゴリズム」を実行する。この拡張「sum-product アルゴリズム」は、MMSE位相誤差推定/訂正プロセス、フレーム同期プロセス、通常の「sum-product アルゴリズム」プロセスで構成される。

25 (A) MMSE位相誤差推定/訂正プロセス

まず、復号部5では、受信信号の初期LLRメッセージを、下記(6)式のように計算する。このとき、復号部5内の繰り返しカウンタを $l = 1$ に、最大繰り

返し数を 1_{\max} に、それぞれ設定する。

$$\begin{aligned}
 L_u^0(u_i) &\equiv \ln \frac{\Pr\{u_i = +1|r\}}{\Pr\{u_i = -1|r\}} \\
 &= \frac{1 / \sqrt{2\pi\sigma_0^2} \exp(-(r_i - 1)^2 / 2\sigma_0^2)}{1 / \sqrt{2\pi\sigma_0^2} \exp(-(r_i + 1)^2 / 2\sigma_0^2)} = \frac{2r_i}{\sigma_0^2} \\
 &\dots (6)
 \end{aligned}$$

そして、パリティ検査行列Hを用いて「sum-product アルゴリズム」を1度だけ実行する（イテレーション＝1）。

つぎに、復号部5では、1回繰り返し後の符号化信号 $\{u_k\}$ ¹⁰（ただし、 $k = 1$ ）の擬似LLRを用いて、下記（7）式にしたがって軟判定ビット u_k' を推定する。なお、 $E\{\cdot\}$ は、平均値を表す。

$$\begin{aligned}
 u_k' &\equiv E\{u_k\} \\
 &= \Pr\{u_k = +1\} \cdot 1 + \Pr\{u_k = -1\} \cdot (-1) \\
 &= \ln \frac{\exp(L_u^1(u_k))}{1 + \exp(L_u^1(u_k))} + \frac{-1}{1 + \exp(L_u^1(u_k))} \\
 &= \tanh\left(\frac{L_u^1(u_k)}{2}\right) \\
 &\dots (7)
 \end{aligned}$$

つぎに、位相誤差推定部6では、MMSEによって、すなわち、下記（8）式および（9）式にしたがって位相誤差（ θ' ， $\Delta\phi'$ ）を推定する。

$$\theta' + \Delta\phi' \cdot k = \arg \min E \left\{ \left| \tan^{-1} \frac{\text{Im}[y_k / c_k']}{\text{Re}[y_k / c_k']} - (\theta' + \Delta\phi' \cdot k) \right|^2 \right\} \dots (8)$$

10

$$E_p' = \frac{1}{L_c / 2} \sum_{k=1}^{L_c / 2} \tan^{-1} \frac{\text{Im}[y_k / c_k']}{\text{Re}[y_k / c_k']}$$

$$\text{where } E_p(k) = \tan^{-1} \frac{\text{Im}[y_k / c_k']}{\text{Re}[y_k / c_k']}$$

$$k' = \frac{1}{L_c / 2} \sum_{k=1}^{L_c / 2} k$$

5

$$\Delta\phi' = \frac{\sum k \cdot E_p(k) - (L_c / 2) \cdot E_p' \cdot k'}{\sum k^2 - (L_c / 2) \cdot (k')^2}$$

$$\theta' = \frac{E_p \cdot \sum k^2 - k' \sum k \cdot E_p(k)}{\sum k^2 - (L_c / 2) \cdot (k')^2}$$

... (9)

10

なお、 $c_k' = u_{2k-1}' + j u_{2k}'$ であり、 Im は虚軸であり、 Re は実軸であり、 θ' は推定サンプル誤差（タイミングオフセット）を表し、 $\Delta\phi'$ は推定クロック誤差（周波数オフセット）を表し、 $\theta' + \Delta\phi'$ は1次の回帰直線とみなす。第7図は、 $\theta' + \Delta\phi'$ の回帰直線を示す図である。また、 E_p' は軟判定位相誤差の平均を表す。

15

つぎに、乗算器4では、受信信号の軟判定位相誤差（タイミングオフセット、周波数オフセット）を補正する。すなわち、(10)式のように、受信信号 y_k に対して上記で求めた位相誤差を乗算し、受信信号の補正值 y_k' を計算する。その結果、補正後の受信信号として、(11)式が得られる。

20

$$\begin{aligned} y_k' &= y_k \cdot e^{-j(\theta' + \Delta\phi' \cdot k)} \\ &= (r_{2k-1} + j \cdot r_{2k}) \cdot (\cos(\theta' + \Delta\phi' \cdot k) - j \cdot \sin(\theta' + \Delta\phi' \cdot k)) \end{aligned}$$

... (10)

25

$$\begin{aligned} r_{2k-1}' &= \text{Re}\{(r_{2k-1} + j \cdot r_{2k}) \cdot (\cos(\theta' + \Delta\phi' \cdot k) - j \sin(\theta' + \Delta\phi' \cdot k))\} \\ r_{2k}' &= \text{Im}\{(r_{2k-1} + j \cdot r_{2k}) \cdot (\cos(\theta' + \Delta\phi' \cdot k) - j \sin(\theta' + \Delta\phi' \cdot k))\} \end{aligned}$$

... (11)

つぎに、復号部 5 では、上記補正後の受信信号を用いて LLR を更新する。補正により更新される LLR メッセージは、下記 (12) 式で与えられる。

$$L_u^0(u_i) \equiv \ln \frac{\Pr\{u_i = +1|r'\}}{\Pr\{u_i = -1|r'\}} = \frac{2r'_i}{\sigma_0^2} \quad \dots (12)$$

5

つぎに、フレーム判定部 7 では、上記位相誤差の補正処理を終了させるかどうかを、最新の LLR の平均値 m^1 と 1 つ前の LLR の平均値 m^{1-1} とを比較することによって判断する。たとえば、フレーム判定部 7 による判断の結果、 $m^{1-1} < m^1$ の場合は、復号部 5、位相誤差推定部 6 および乗算器 4 にて、再度「sum-product アルゴリズム」以降の処理を行う。なお、LLR の平均値 m は、下記 (13)

10

$$m_u^1 = \frac{1}{L_c} \sum_{i=1}^{L_c} |L_u^1(u_i)| \quad \dots (13)$$

15 (B) フレーム同期プロセス

一方、上記フレーム判定部 7 による判断の結果、 $m^{1-1} \geq m^1$ の場合、復号部 5 では、下記 (14) 式を実行し、フレーム同期制御を行う。具体的にいうと、 $\pm M$ のサンプルポイント、すなわち、 $2M+1$ 個のサンプル開始点の候補、に対応する LLR の絶対値の平均値のなかから最大値を検出し、当該最大値に対応する

20 ポイントをフレームのサンプル開始点 g' とする。なお、ここまでの処理が「イテレーション=1」の処理となる。また、 $2M+1$ 個のサンプル開始点の候補は、キャリア電力を検出可能なキャリアセンス部 2 からの情報に基づいて決定される。このキャリアセンス機能により、大まかな受信フレームの開始位置（サンプル開始点の候補）を推定できる。

25

$$g' = \arg \max_{g \in [-M, M]} \frac{1}{L_c} \sum_{s=g}^{g+L_c-1} |L_u^1(u_s)| \quad \dots (14)$$

(C) 通常の「sum-product アルゴリズム」プロセス

その後、復号部 5 では、(B) の処理で選択されたフレームに対して、一般的な「sum-product アルゴリズム」を実行する。すなわち、一時的な硬判定ビット $(b_1', b_2', \dots, b_{L_c}')$ が $(b_1', b_2', \dots, b_{L_c}') \times H = 0$ を満たした場合、その硬判定ビットを出力し、「sum-product アルゴリズム」を停止する。一方、 $(b_1', b_2', \dots, b_{L_c}') \times H = 0$ が成立せず、かつ $1 \leq l_{\max}$ の場合は、復号部 5 内部のカウンタ値 l をインクリメントし、 $l = l_{\max}$ になるまで復号を継続する。

以上、ここまでの説明は、LDPC 符号を用いたフレーム同期制御の基本動作、および上記タイミングオフセットや周波数オフセットを補正しながらフレーム同期制御および復号処理を行う本実施の形態の受信機の動作、について説明したが、以降では、本実施の形態の受信機の復号特性を解析する。

第 8 図は、本実施の形態の受信機を用いた場合 (MMSE による位相誤差補正を行った場合) の、0 度から 45 度までの異なるタイミングオフセットによるフレーム誤りの確率を示す図である。このように、本実施の形態の復号方法では、タイミングオフセットが 30 度におよぶ場合であっても、SNR : 2 dB 程度で、正確なフレーム位置を検出できる。

また、第 9 図は、BER 特性を示す図である。なお、図中“0 度”，“20 度”，“40 度”，“45 度”は、それぞれタイミングオフセットの値を示している。また、周波数オフセットは、一律 -0.0036 度 (-10 ppm) としている。たとえば、 $\Delta\phi : -0.0036$ 度 (-10 ppm) で、繰り返し回数が 100 回で、かつ $BER = 10^{-4}$ 点で“20 度”の場合、“0 度”と比較して 0.3 dB 程度しか劣化していない。さらに、“40 度”の場合であっても、“0 度”と比較して 0.8 dB 程度しか劣化していない。

また、第 10 図は、タイミングオフセットの推定値の確率密度分布を示す図であり、第 11 図は、周波数オフセットの推定値の確率密度分布を示す図である。これらの図から、タイミングオフセットの推定値と周波数オフセットの推定値は、

ガウス近似法による推定スレッシュホールドを超えて E_b/N_0 が増加するに従って正確度を増すことがわかる。

このように、本実施の形態においては、一般的な復号処理（「sum-product アルゴリズム」）に、MMSEによる軟判定位相誤差補正機能を持たせる構成とした。
5 た。すなわち、PLLを用いずに、タイミングオフセットや周波数オフセットを補正しながら、フレーム同期制御および復号処理を行う構成とした。これにより、たとえば、QPSK変調の場合において、40度近いタイミングオフセットが発生した場合であっても、良好な特性（復号性能）を得ることができる。

以上、説明したとおり、本発明によれば、一般的な復号処理（「sum-product
10 アルゴリズム」）に、MMSEによる軟判定位相誤差補正機能を持たせる構成とした。これにより、たとえば、40度近いタイミングオフセットが発生した場合であっても、特性（復号性能）の劣化を抑制可能な通信システムを得ることができる、という効果を奏する。

つぎの発明によれば、PLLを用いることなく、プリアンブルやユーザコード
15 を含まないフレーム構成で、タイミングオフセットや周波数オフセットを補正しながら、フレーム同期制御および復号処理を行う構成とした。これにより、フレームの無駄な冗長化を防止でき、さらに、正確なフレーム位置を検出することが可能な通信システムを得ることができる、という効果を奏する。

つぎの発明によれば、たとえば、 $2M+1$ 個のサンプル開始点の候補を、キャ
20 リアセンス機能を用いて決定する構成とした。このキャリアセンス機能により、大まかな受信フレームの開始位置（サンプル開始点の候補）を効果的に推定可能な通信システムを得ることができる、という効果を奏する。

つぎの発明によれば、一般的な復号処理（「sum-product アルゴリズム」）に、
MMSEによる軟判定位相誤差補正機能を持たせる構成とした。これにより、た
25 えば、40度近いタイミングオフセットが発生した場合であっても、特性（復号性能）の劣化を抑制可能な受信機を得ることができる、という効果を奏する。

つぎの発明によれば、PLLを用いることなく、プリアンブルやユーザコード

を含まないフレーム構成で、タイミングオフセットや周波数オフセットを補正しながら、フレーム同期制御および復号処理を行う構成とした。これにより、フレームの無駄な冗長化を防止でき、さらに、正確なフレーム位置を検出することが可能な受信機を得ることができる、という効果を奏する。

- 5 つぎの発明によれば、たとえば、 $2M+1$ 個のサンプル開始点の候補を、キャリアセンス機能を用いて決定する構成とした。このキャリアセンス機能により、大まかな受信フレームの開始位置（サンプル開始点の候補）を効果的に推定可能な受信機を得ることができる、という効果を奏する。

- 10 つぎの発明によれば、一般的な復号処理（「sum-product アルゴリズム」）に、MMSE による軟判定位相誤差補正機能を持たせる。これにより、たとえば、40 度近いタイミングオフセットが発生した場合であっても、良好な特性（復号性能）を得ることができる、という効果を奏する。

- 15 つぎの発明によれば、PLL を用いることなく、プリアンブルやユーザコードを含まないフレーム構成で、タイミングオフセットや周波数オフセットを補正しながら、フレーム同期制御および復号処理を行う。これにより、フレームの無駄な冗長化を防止でき、さらに、正確なフレーム位置を検出できる、という効果を奏する。

- 20 つぎの発明によれば、たとえば、 $2M+1$ 個のサンプル開始点の候補を、キャリアセンス機能を用いて決定する。このキャリアセンス機能により、大まかな受信フレームの開始位置（サンプル開始点の候補）を効果的に推定できる、という効果を奏する。

産業上の利用可能性

- 25 以上のように、本発明にかかる通信システム、受信機および通信方法は、プリアンブルやユーザコード等の特定のシンボルを用いずに同期制御を行うシステムに有用であり、特に、LDPC 符号化された信号を用いて同期制御を行う通信システムに適している。

請 求 の 範 囲

1. 低密度パリティ検査 (Low-density Parity-check: LDPC) 符号化処理
を実行する送信機と、
- 5 サンプル開始点の候補となる複数のサンプルポイントで、受信信号に対して「
sum-product アルゴリズム」による1回 (イテレーション: 1) のLDPC復号
を実行する復号手段と、前記復号の過程で出力される軟判定情報を用いて、最小
平均自乗誤差法 (Minimum Mean Square Error: MMSE) による位相誤差推定
を実行する位相誤差推定手段と、前記推定結果に基づいて受信信号を補正する補
10 正手段と、を有する受信機と、
を備えることを特徴とする通信システム。
2. 前記受信機は、キャリアセンスによりサンプル開始点の候補を決定するこ
とを特徴とする請求の範囲第1項に記載の通信システム。
- 15 3. 前記受信機は、さらに、
前記補正処理を終了させるかどうかを、最新の対数尤度比の絶対値の平均 (A)
) と1つ前の対数尤度比の絶対値の平均 (B) とを比較することによって判断し、
前記判断の結果、 $B < A$ の場合、補正後の受信信号を用いて再度LDPC復号お
よび補正処理を実行させ、一方、補正後の受信信号を用いて繰り返し復号を実行
20 した結果、 $B \geq A$ となった場合、補正処理を終了させ、その後、前記サンプル開
始点の候補に対応する対数尤度比の絶対値の平均のなかから最大値を選択し、当
該最大値に対応するポイントをフレームのサンプル開始点とするフレーム同期制
御手段、
25 を備え、
前記復号手段は、選択されたフレームに対して、イテレーションが所定回数に
達するか、または、誤りがなくなるまで、LDPC復号を繰り返し実行すること

を特徴とする請求の範囲第1項に記載の通信システム。

4. 前記受信機は、キャリアセンスによりサンプル開始点の候補を決定することを特徴とする請求の範囲第3項に記載の通信システム。

5

5. サンプル開始点の候補となる複数のサンプルポイントで、受信信号に対して「sum-product アルゴリズム」による1回（イテレーション：1）の低密度パリティ検査（Low-density Parity-check：LDPC）復号を実行する復号手段と、

前記復号の過程で出力される軟判定情報を用いて、最小平均自乗誤差法（Minimum Mean Square Error：MMSE）による位相誤差推定を実行する位相誤差推定手段と、

前記推定結果に基づいて受信信号を補正する補正手段と、

を備えることを特徴とする受信機。

15

6. キャリアセンスによりサンプル開始点の候補を決定することを特徴とする請求の範囲第5項に記載の受信機。

7. さらに、

前記補正処理を終了させるかどうかを、最新の対数尤度比の絶対値の平均（A）と1つ前の対数尤度比の絶対値の平均（B）とを比較することによって判断し、前記判断の結果、 $B < A$ の場合、補正後の受信信号を用いて再度LDPC復号および補正処理を実行させ、一方、補正後の受信信号を用いて繰り返し復号を実行した結果、 $B \geq A$ となった場合、補正処理を終了させ、その後、前記サンプル開始点の候補に対応する対数尤度比の絶対値の平均のなかから最大値を選択し、当該最大値に対応するポイントをフレームのサンプル開始点とするフレーム同期制御手段、

25

を備え、

前記復号手段は、選択されたフレームに対して、イテレーションが所定回数に達するか、または、誤りがなくなるまで、LDPC復号を繰り返し実行すること
を特徴とする請求の範囲第5項に記載の受信機。

- 5 8. キャリアセンスによりサンプル開始点の候補を決定することを特徴とする
請求の範囲第7項に記載の受信機。

9. サンプル開始点の候補となる複数のサンプルポイントで、受信信号に対し
て「sum-product アルゴリズム」による1回（イテレーション：1）の低密度パ
リティ検査（Low-density Parity-check：LDPC）復号を実行する第1の復号
10 ステップと、

前記復号の過程で出力される軟判定情報を用いて、最小平均自乗誤差法（Mini
mum Mean Square Error：MMSE）による位相誤差推定を実行する位相誤差推
定ステップと、

- 15 前記推定結果に基づいて受信信号を補正する第1の補正ステップと、

前記補正処理を終了させるかどうかを、最新の対数尤度比の絶対値の平均（A）
と1つ前の対数尤度比の絶対値の平均（B）とを比較することによって判断す
る判断ステップと、

- 前記判断の結果、 $B < A$ の場合、補正後の受信信号を用いて再度LDPC復号
20 および補正処理を実行する第2の補正ステップと、

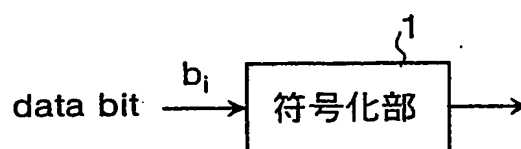
一方、補正後の受信信号を用いて繰り返し復号を実行した結果、 $B \geq A$ となっ
た場合、補正処理を終了し、前記サンプル開始点の候補に対応する対数尤度比の
絶対値の平均のなかから最大値を選択し、当該最大値に対応するポイントをフレ
ームのサンプル開始点とするフレーム同期ステップと、

- 25 選択されたフレームに対して、イテレーションが所定回数に達するか、または、
誤りがなくなるまで、LDPC復号を繰り返し実行する第2の復号ステップと、
を含むことを特徴とする通信方法。

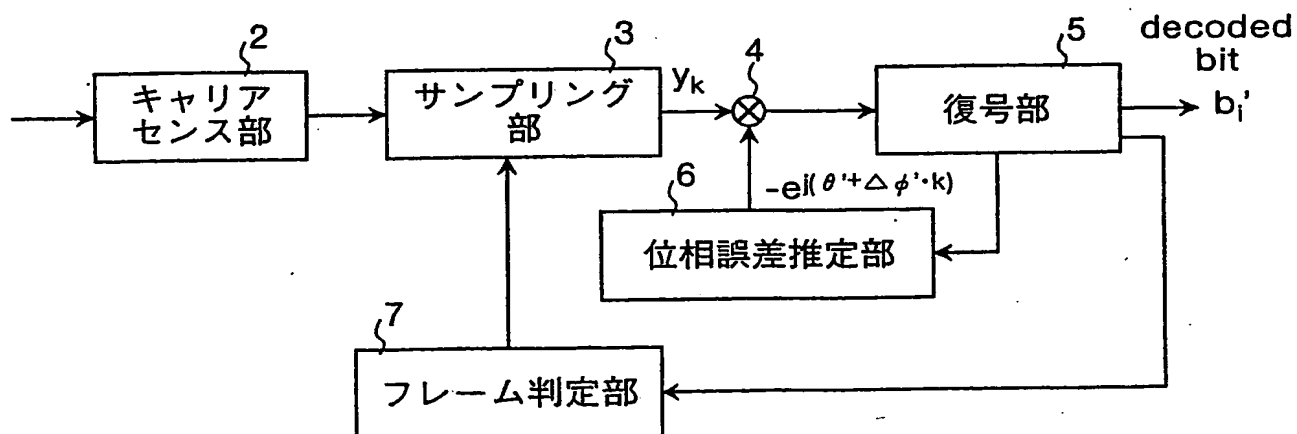
10. キャリアセンスによりサンプル開始点の候補を決定することを特徴とする請求の範囲第9項に記載の通信方法。

第1図

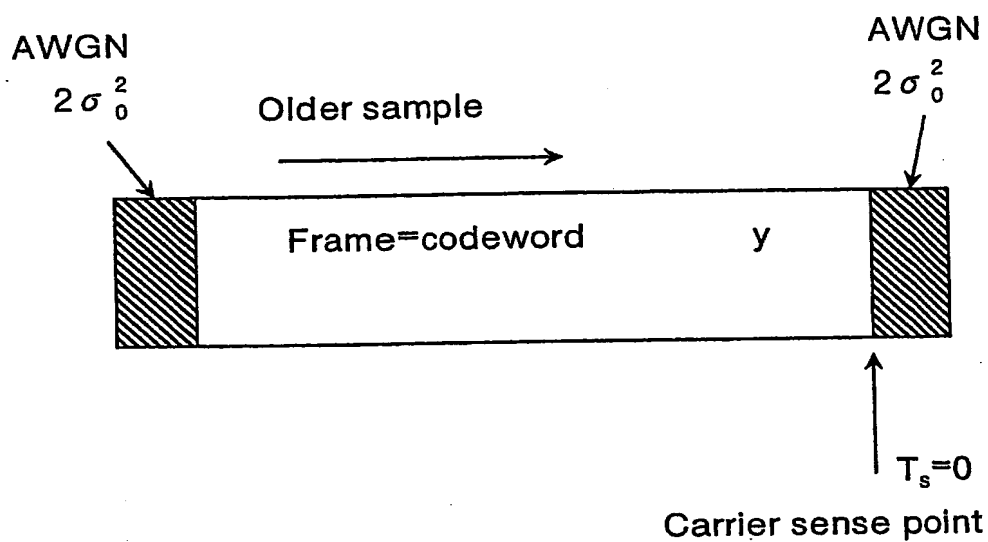
(a)



(b)



第 2 図



第 3 図

modulation	BPSK
Information length	3071
rate	0.5
channel	AWGN
Channel coding	LDPC code
Channel model	AWGN

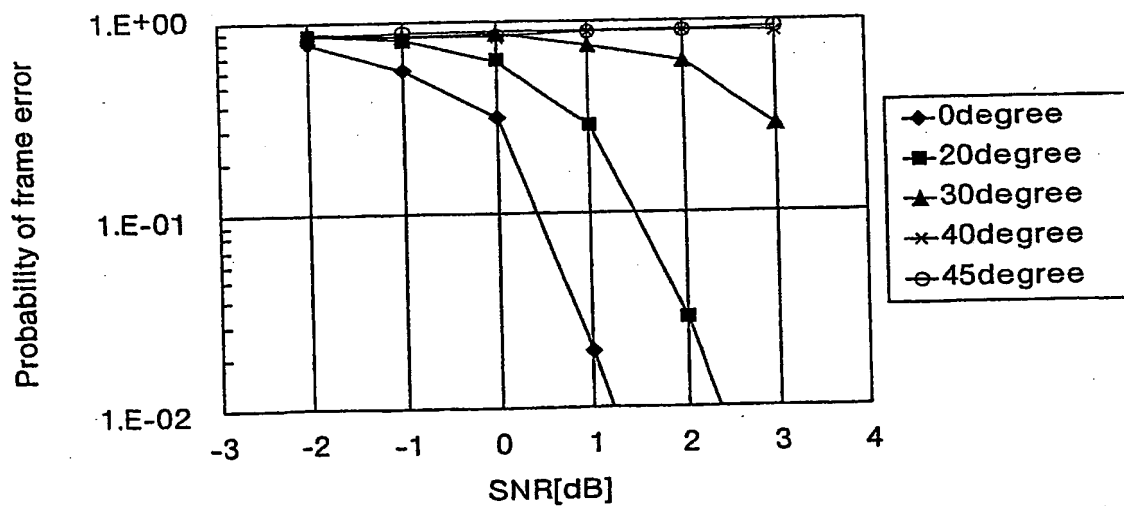
第 4 図

rate	0.5		
codeword length	6140		
	x	λ_x	No.
	2	0.165506	2709
	3	0.187867	2050
	6	0.007331	40
	8	0.223851	916
	32	0.415445	425
	x	ρ_x	No.
	10	0.3125	1023
	11	0.6875	2046
σ_{GA}	0.959309		
SNR_{norm} (GA)	0.1719		

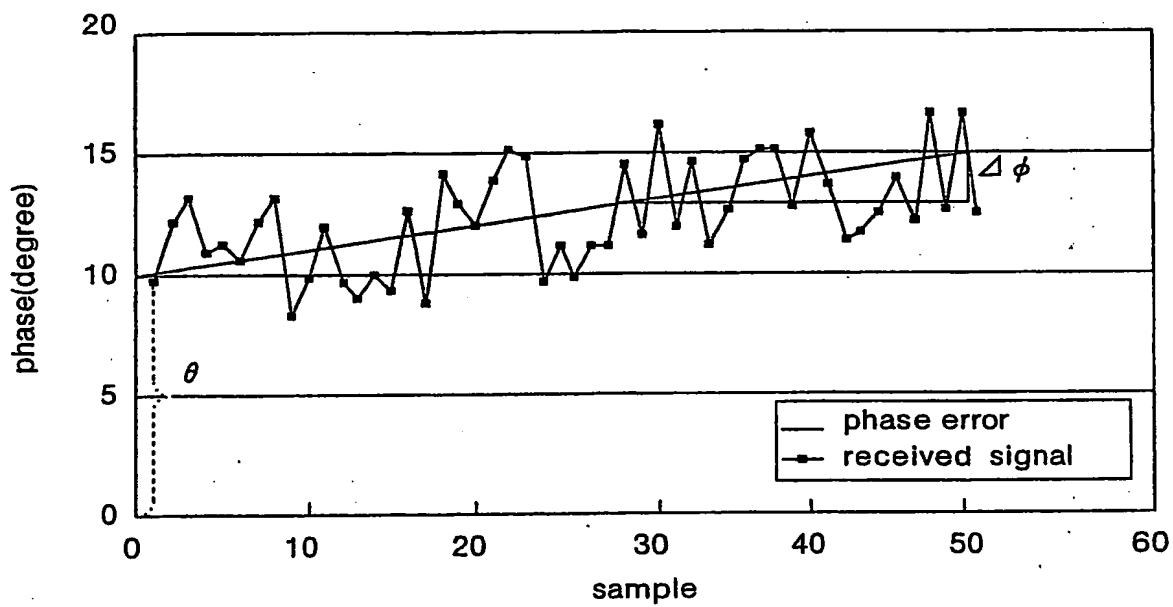
第5図



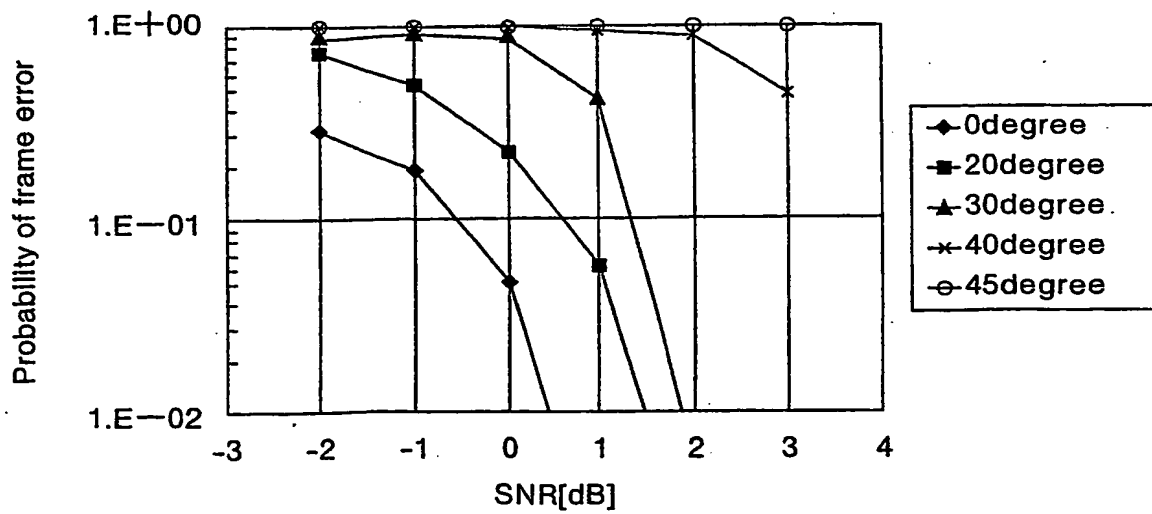
第6図



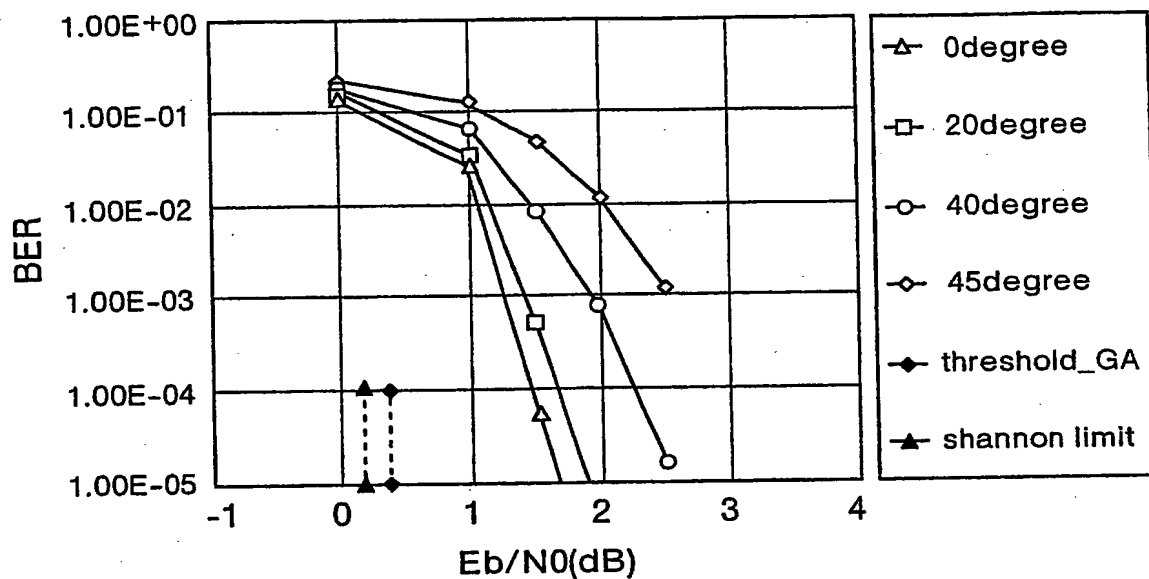
第7図



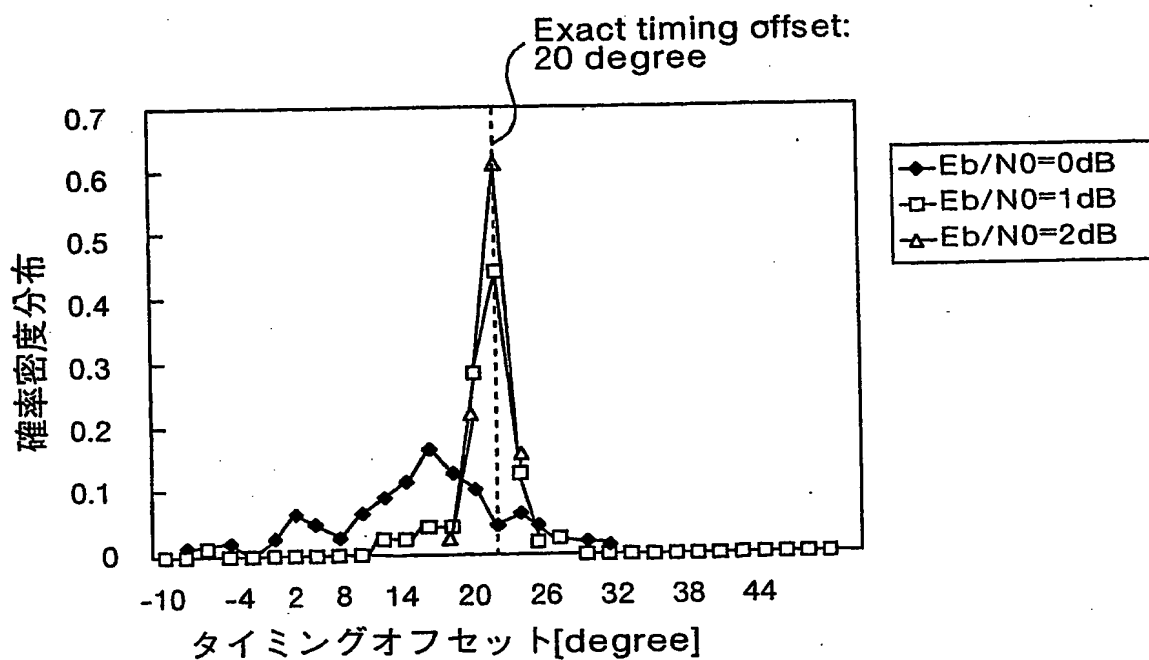
第8図



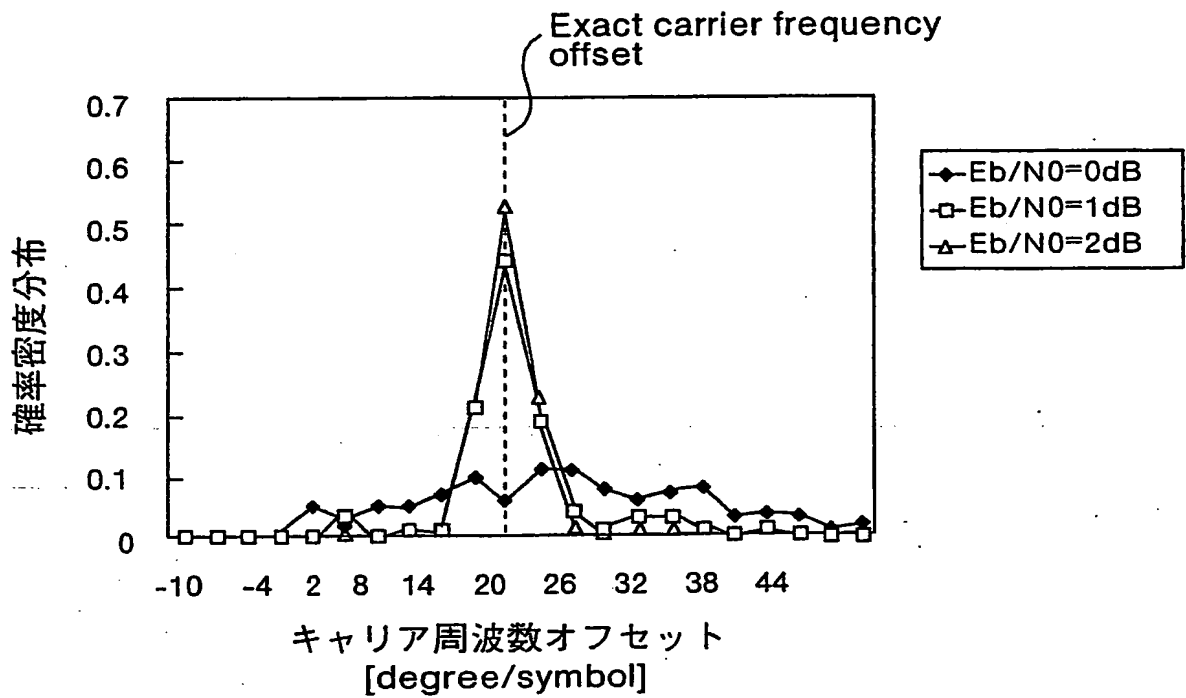
第9図



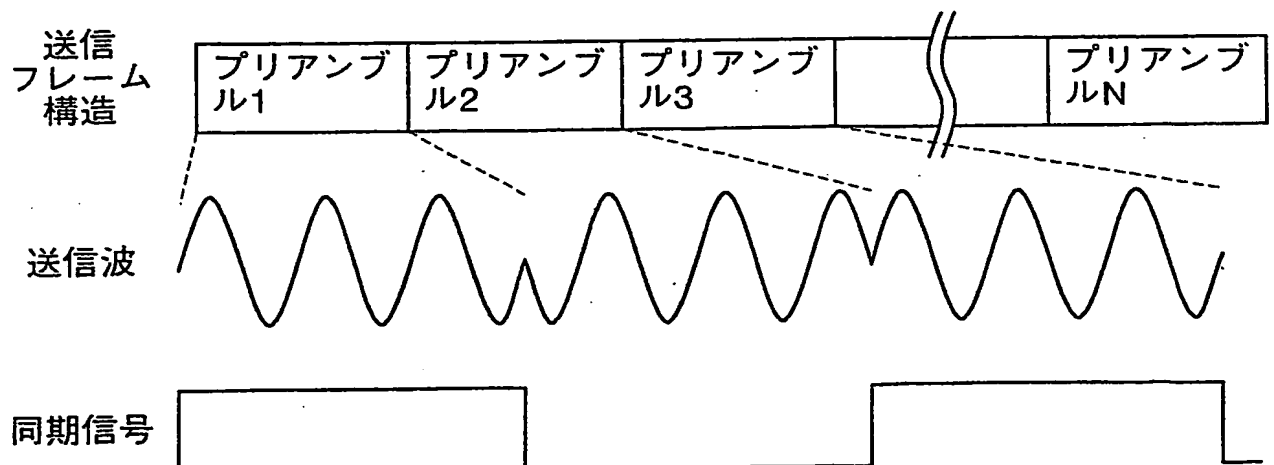
第10図



第11図



第12図



第13図

プリアンブルN	ユーザ コード	各種制御 コード	ペイロードデータ
---------	------------	-------------	----------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/06396

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H04L7/08, H03M13/39

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H04L7/08, H03M13/39

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-150439 A (NTT Mobile Communications Network Inc.), 02 June, 1998 (02.06.98), Full text & EP 831616 A2 & US 5953378 A	1-10
A	JP 8-125640 A (Murata Machinery Ltd.), 17 May, 1996 (17.05.96), & US 5852639 A	1-10
A	JP 2001-168733 A (Thomson-CSF), 22 June, 2001 (22.06.01), Column 2, lines 16 to 46 & EP 1093231 A1 & CA 2322983 A1	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
15 August, 2003 (15.08.03)

Date of mailing of the international search report
26 August, 2003 (26.08.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/06396

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,A	JP 2002-314520 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 25 October, 2002 (25.10.02), Full text & WO 02/87141 A1 & EP 1292063 A1	1-10
P,A	JP 2003-115768 A (International Business Machines Corp.), 18 April, 2003 (18.04.03), Full text (Family: none)	1-10
E,A	JP 2003-198383 A (Mitsubishi Electric Corp.), 11 July, 2003 (11.07.03), Full text (Family: none)	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H04L7/08, H03M13/39

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H04L7/08, H03M13/39

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2003年
日本国実用新案登録公報	1996-2003年
日本国登録実用新案公報	1994-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した言語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 10-150439 A (エヌ・ティ・ティ移動通信網株式会社) 1998.06.02, 全文を参照 &EP 831616 A2, &US 5953378 A	1-10
A	JP 8-125640 A (村田機械株式会社) 1996.05.17, 全文を参照 &US 5852639 A	1-10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

15.08.03

国際調査報告の発送日

20.08.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

阿部 弘



5K

9382

電話番号 03-3581-1101 内線 3555

C (続き) . 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2001-168733 A (トムソン・ソーエスエフ) 2 001.06.22, 第2欄第16行乃至第46行 &EP 1093231 A1, &CA 2322983 A1	1-10
P, A	JP 2002-314520 A (松下電器産業株式会社) 20 02.10.25, 全文を参照 &WO 02/87141 A1, &EP 1292063 A1	1-10
P, A	JP 2003-115768 A (インターナショナル・ビジネ ス・マシーンズ・コーポレーション) 2003.04.18, 全文 を参照 (ファミリーなし)	1-10
E, A	JP 2003-198383 A (三菱電機株式会社) 200 3.07.11, 全文を参照 (ファミリーなし)	1-10